2020年新疆南部区域干热风精细化特征分析

张祖莲[1,2]， 毛炜峄[1]， 姚艳丽[2]， 张山清[2]， 顾雅文[2]

（1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆 乌鲁木齐 830002；2. 新疆兴农网信息中心，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用2020年5—7月中国气象局陆面数据同化系统（CLDAS）的5 km×5 km小时再分析数据，结合2020年新疆南部小麦种植区的作物发育期资料，细化了基于小时气象要素的干热风定义，整理出区域内每个格点精确到小时的干热风数据，分析了新疆南部区域的轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风精细化特征。结果表明：（1）新疆南部区域的轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风的格点平均日数分别为31.0 d、13.8 d、10.7 d和3.6 d；格点平均小时数分别为151.2 h、54.6 h、41.2 h和11.3 h。若羌、哈密和吐鲁番盆地是干热风日数、小时数和干热风综合强度等指标高值区。（2）区域高温低湿型干热风平均时数≥6.5 h的高发日集中在6月下旬、7月上旬和中旬。区域旱风型干热风平均时数≥4.0 h高发日主要出现在5月、6月中旬和7月上旬。在每天的18:00高温低湿型干热风落区面积最大，19:00旱风型干热风落区面积最大。（3）新疆南部区域，轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程平均次数分别为12.7次、7.9次、5.7次和2.5次，干热风过程最长持续日数平均值分别为8.4 d、3.5 d、2.7 d和1.2 d。该区域的干热风范围广、过程次数多、过程持续日数长，干热风防御需引起足够重视。

关键词：小麦；干热风；精细化特征；新疆南部

新疆是我国发生干热风危害最严重的地区之一，南疆多于北疆，东部多于西部，平原多于山区[1-2]，该区域的小麦干热风灾害主要有高温低湿型和旱风型两类，5—7月干热风危害持续时间长[3]，在开花乳熟期，遇到干热风后蒸腾作用会大幅加快，小麦灌浆速度减慢甚至停止，导致麦籽粒穗秕，降低产量和质量[3-5]。在春夏季出现干热风天气时，也会危害棉花、玉米、瓜果等作物[4]。

气候变暖背景下我国北方春季气温上升，干热风发生区域扩大、频次增加、强度增强、危害风险加剧[6]。目前，国内对干热风研究比较多，也有对新疆不同区域的干热风及其主要气象因子影响分析的成果[7-9]，绝大多数研究是根据气象站观测资料进行分析[10]。另外，以往研究中的干热风指标是根据日最高气温、最大风速和最小相对湿度来定义的，只有日时间尺度的数据，干热风强度也是半定量化分级；干热风日数是上述研究中的主要评价指标，该指标只考虑单一类型干热风[11-18]。目前，全面评估新疆各种类型干热风精细化特征的成果很少，主要是难以得到高时空分辨率的基本气象要素信息。2020年开始，中国气象局陆面数据同化系统（CLDAS）高时空分辨率实况数据向各省区下发，为基于栅格化数据的农业气象灾害精细化分析和服务提供了数据保障。

新疆气候公报显示，2020年天气气候异常，全疆气温总体偏高、干旱少雨。南疆降水量较常年偏少22%。春季全疆平均气温13 ℃，较常年偏高2.6 ℃，为有气象记录以来最高；南疆偏高1.4 ℃，北疆发生近35 a来最强春、夏连旱。本文应用2020年5—7月中国气象局下发的CLDAS数据，包括气温、风速和相对湿度等，空间分辨率5 km×5 km，时间分辨率1 h。对2020年5—7月新疆南部区域逐格点逐小时进行识别，整理出基于格点化的干热风小时数据，分析新疆南部区域的轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风灾害精细化特征，尝试将该区域的干热风风险分析精确到田间，为小麦及其他农作物农

收稿日期：2021-04-01； **修订日期**：2021-06-18

基金项目：国家重点研发计划项目（2019YFC1510501）；新疆小麦干热风精细化监测与预测技术研究（MS202215）

作者简介：张祖莲（1984-），女，硕士，高级工程师，主要从事农业气象灾害研究. E-mail: 1724593714@qq.com

通讯作者：姚艳丽. E-mail: 183250354@qq.com

业气象灾害精准防御提供技术支撑。

1　数据来源与方法

1.1　数据来源

实况资料选择2020年5—7月中国气象局陆面数据同化系统(CLDAS)小时实况数据产品，分辨率为5 km。其实况产品数据的优点在于结合了地面、卫星、雷达等多源资料融合。选择新疆天山山脉以南的区域作为研究区，地理位置为34.4°~45.05°N，73.55°~96.35°E，研究区域内共有49528个格点（图1），其中达到干热风指标的总格点数为29988个，达到不同程度干热风指标的格点个数分别是：高温低湿_轻(High Temperature and Low Humidity_Light, HTLH_L)29988个、高温低湿_中(High Temperature and Low Humidity_ Mehium, HTLH_M)26603个、高温低湿_重(High Temperature and Low Humidity_ Heavy, HTLH_H)23526个、旱风型(Dry Wind Type, DW)为2705个。

新疆南部区域的春麦区主要分布于吐鲁番、哈密盆地、焉耆盆地（图1），冬、春麦兼种区主要分布于轮台、库尔勒、若羌、且末，冬麦区主要分布于阿克苏、喀什、和田地区。2020年新疆南部区域小麦从开花到成熟的关键发育期主要集中在5月上旬至7月中旬（表1）。

1.2　干热风等级标准

根据中国气象行业标准，小麦干热风灾害[19]分为高温低湿型和旱风型，其中高温低湿型又分为轻、中、重3种程度。本文中定义干热风逐时判断划分标准为：(1) 重度高温低湿型干热风（气温≥35 ℃，相对湿度≤25%，风速≥3 m·s^{-1}）；(2) 中度高温低湿型干热风（气温≥34 ℃，相对湿度≤25%，风速≥3 m·s^{-1}）；(3) 轻度高温低湿型干热风（气温≥32 ℃，相对湿度≤30%，风速≥2 m·s^{-1}）；(4) 旱风型干热风（气温>25 ℃，相对湿度<30%，风速>14 m·s^{-1}）。

1.3　区域干热风日指数计算方法

根据上述标准，对每个格点的小时气象要素依次进行干热风判识，达到标准记为1个干热风时数。在北京时间00:00—23:00日界内，当日该格点

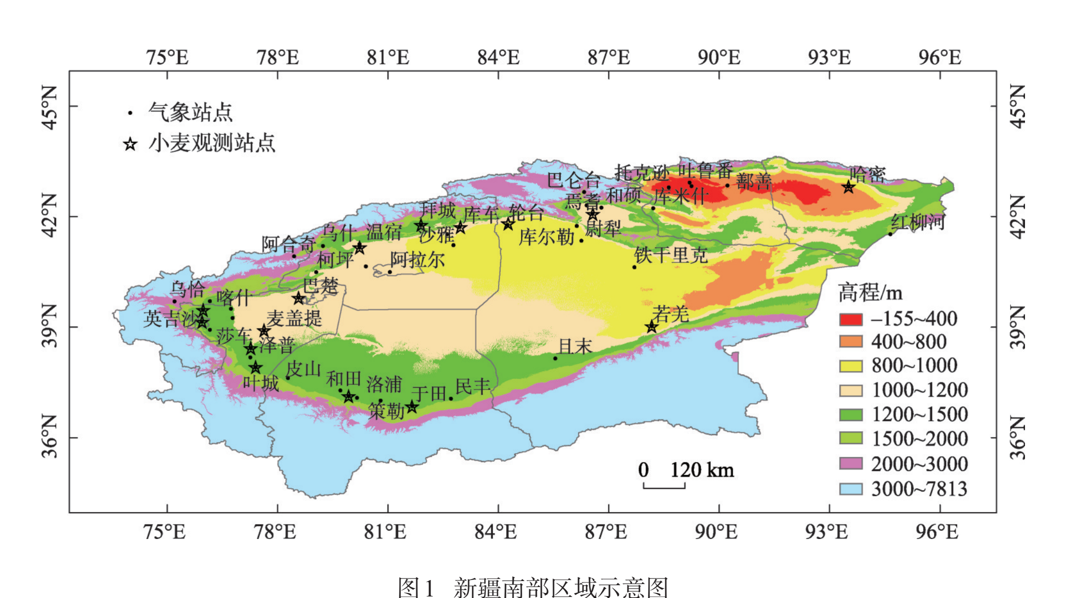


图1　新疆南部区域示意图

Fig. 1　Overview map of southern Xinjiang

表1　2020年新疆南部区域小麦发育期

Tab. 1　Wheat development period in southern Xinjiang in 2020

	5月上旬	5月中旬	5月下旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月中旬
冬小麦	开花（喀什地区、和田地区、轮台、若羌）	开花（阿克苏、库车、拜城、阿克陶），乳熟（麦盖提）	乳熟(轮台、库车、于田、喀什地区)，成熟(麦盖提)	乳熟(阿克苏，拜城，阿克陶)，成熟（喀什地区，和田）	成熟(轮台，阿克苏，于田，若羌，阿克陶)	成熟(库车，拜城)		
春小麦			开花(焉耆)	开花(哈密)		乳熟(焉耆，哈密)	成熟（焉耆）	成熟（哈密）

上达到干热风标准的小时数≥1次，就记为1个干热风日。将新疆南部区域内所有格点当天的干热风小时数之和记为区域干热风日指数(单位为h)。对新疆南部区域所有格点2020年5—7月每天的逐小时数据进行干热风判识，整理出逐日不同类型区域干热风日指数，区域干热风日指数计算方法如公式(1)。

$$AVG_H = \frac{\sum_{n=1}^{NA} h_n}{NA} \tag{1}$$

式中：AVG_H为逐日格点平均发生干热风的时间；h_n表示逐日每个格点发生干热风的时数；NA表示逐日共发生干热风格点总数。

1.4 区域干热风综合强度指数计算方法

王春乙等[20]提出了高温低湿型干热风综合指数DHW，李森等[21]对DHW综合强度进行检验，并构建了涵盖高温低湿和雨后青枯2种干热风类型的干热风综合强度指数，经过检验其具有较好的普遍适用性。新疆南部区域发生干热风时，91.0%的格点为高温低湿型，9.0%的格点为旱风型。根据文献[21]的定义，本文主要对高温低湿型干热风综合强度进行研究，设计了新疆南部区域干热风综合强度指数CID。CID计算公式如下：

$$I_{xj} = W_1\frac{T_{xj}-T_0}{T_0} + W_2\frac{R_{xj}-R_0}{R_0} + W_3\frac{V_{xj}-V_0}{V_0} \tag{2}$$

$$\mathrm{CID} = \sum_{j=1}^{n} I_{xj} \tag{3}$$

$$\mathrm{CID_1} = \frac{\sum_{x=1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{t} I_{xj}\right)}{NA} \tag{4}$$

式中：I_{xj}表示第x个格点在第j时次的干热风综合强度指数值；T_0、R_0、V_0分别表示气温、相对湿度、风速的临界值，根据轻度高温低湿型干热风标准，分别取32 ℃、30%和2 m·s^{-1}；T_{xj}、R_{xj}和V_{xj}分别为第x个格点在第j时次的气温、相对湿度和风速实况值；W_1、W_2、W_3分别为气温、相对湿度和风速的计算权重系数，分别为0.73、0.25、0.02；n表示在分析时段第x个格点的干热风时数；CID表示在分析时段内第x个格点的干热风综合强度指数值，CID指数可以用来分析固定时段内各个格点的干热风强度空间分布精细化特征；m表示区域内某天出现干热风的格点数；t表示在分析时段内某天出现的干热风时数；NA表示区域内某天出现干热风的格点数；CID_1表示分析时段内某天区域所有出现干热风的格点的综合强度值；逐日计算新疆南部区域的干热风综合强度日指数CID_1。CID_1指数可以用来分析在研究时段内区域内干热风强度的逐日演变规律。当T_{xj}、R_{xj}和V_{xj}同时满足高温低湿_轻干热风指标时，CID和CID_1有效，否则CID=0和CID_1=0。

2 结果与分析

2.1 干热风日、时数精细化空间分布

时间长短和面积大小反映了区域干热风强度和危害程度，干热风日数和时数愈多、面积越大，危害愈重[3]。在新疆南部区域，高温低湿型干热风在海拔高度1500 m以下均有分布，旱风型干热风主要集中在吐鲁番盆地三十里风区、哈密百里风区和巴州铁干里克地区。

由图2可知，在新疆南部区域，轻、中、重度的高温低湿型和旱风型干热风的日数范围分别为1~88 d、1~87 d、1~86 d和1~36 d，对应的格点日数平均值分别为31.0 d、13.8 d、10.7 d和3.6 d；轻、中、重度的高温低湿型和旱风型干热风的时数范围分别为1~1098 h、1~902 h、1~832 h和1~242 h，对应的格点时数平均值分别为151.2 h、54.6 h、41.2 h和11.3 h。

以2020年5—7月区域内每个格点的轻度高温低湿型干热风日数HTLH_L多少为依据，将新疆南部区域的干热风从轻到重分为5个等级，分别是：I_1（1 d≤HTLH_L≤10 d）、II_1（10 d<HTLH_L≤20 d）、III_1（20 d<HTLH_L≤30 d）、IV_1（30 d<HTLH_L≤60 d）、V_1（60 d<HTLH_L≤91 d）。构建了3个等级强度指标，分别是干热风格点数、干热风格点日数平均值和时数平均值，用来分析新疆南部区域内不同等级干热风精细化空间特征。整理了新疆南部区域上述5种强度对应的轻、中、重度的高温低湿干热风以及旱风型干热风的格点数，以及区域内各格点平均强度指标。

由表2、图2可知，I_1强度等级对应的轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风的格点数分别为3939个、1145个、480个和93个。I_1等级的格点占新疆南部区域出现干热风格点总数的13.1%，呈零星分布，主要分布于阿克苏地区。II_1等级的格点占区域内干热风格点总数的15.8%，主要分布于东疆，从红柳河向西吐鲁番南部区域海拔高度为200~600 m的区域，南疆海拔高度1200~1500 m的阿克

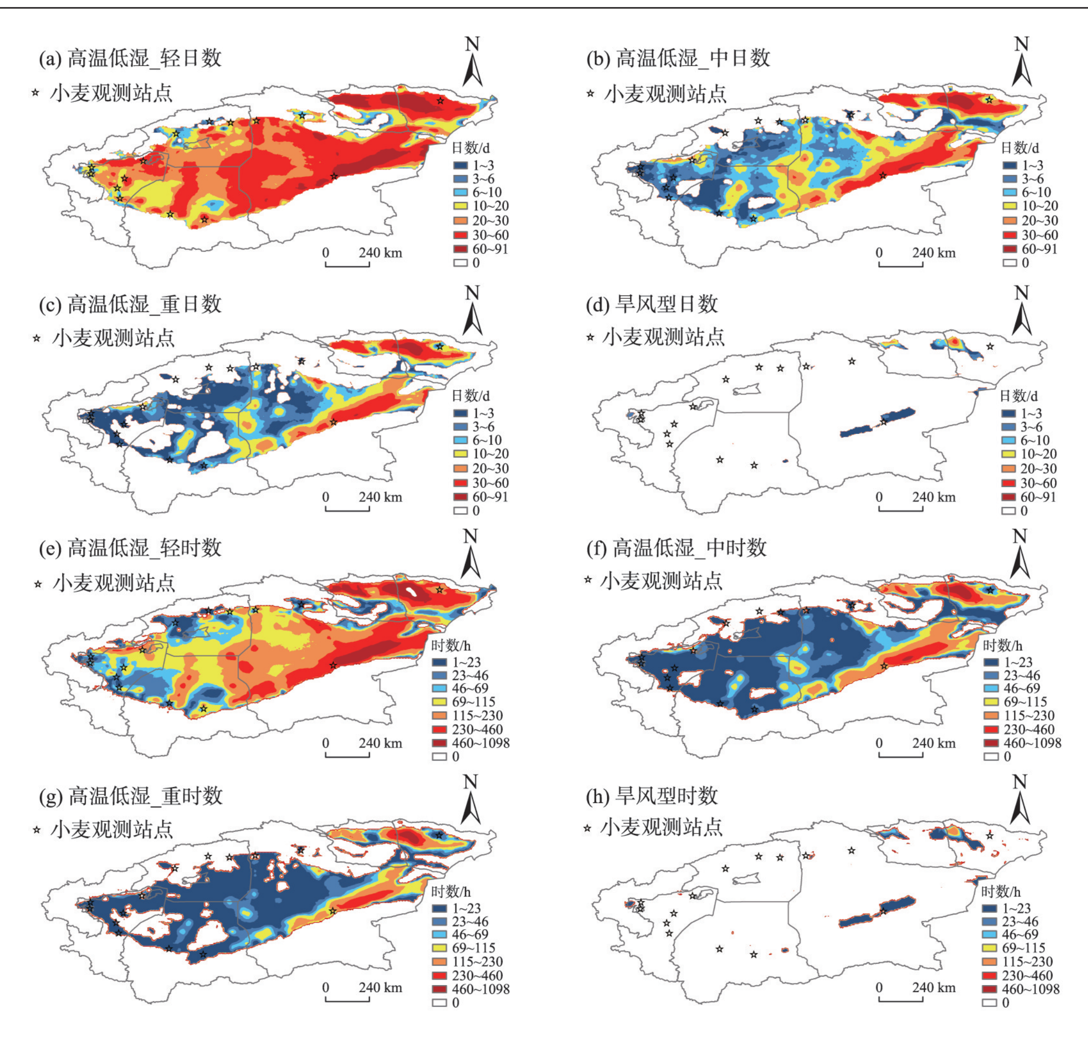


图2　新疆南部区域2020年5—7月不同等级干热风日数(a~d)及时数(e~h)

Fig. 2　Days (a-d) and hours (e-h) of dry-hot wind in southern Xinjiang from May to July in 2020

表2　不同等级格点数以及干热风平均日数、平均时数

Tab. 2　Average days, hours and numbers of dry-hot wind occurred in different grades

	I_1平均值	II_1平均值	III_1平均值	IV_1平均值	V_1平均值
HTLH_L日数/d	5.2	15.7	26.0	41.7	71.4
HTLH_M日数/d	1.5	2.6	5.5	17.7	50.2
HTLH_H日数/d	1.4	1.7	2.6	11.7	43.3
DW日数/d	2.5	1.7	2.0	2.5	4.9
HTLH_L时数/h	11.6	45.3	90.5	204.8	563.8
HTLH_M时数/h	2.0	4.5	11.9	61.8	290.4
HTLH_H/时数/h	1.5	2.2	4.4	36.7	235.6
DW时数/h	4.2	3.5	4.2	6.4	17.3
HTLH_L格点数/个	3939	4744	7591	11549	2165
HTLH_M格点数/个	1145	4190	7554	11549	2165
HTLH_H格点数/个	480	2505	6868	11507	2165
DW格点数/个	93	146	165	991	1308

苏地区、喀什地区以及和田地区。III_1等级的格点占区域干热风格点总数的25.3%，主要分布在南疆海拔高度1000~1200 m的塔里木盆地、海拔高度800~1000 m的塔里木河流域，以及喀什部分地区。IV_1等级的格点占区域干热风格点总数的38.5%，主要分布在从红柳河周边的零星格点向西南至铁

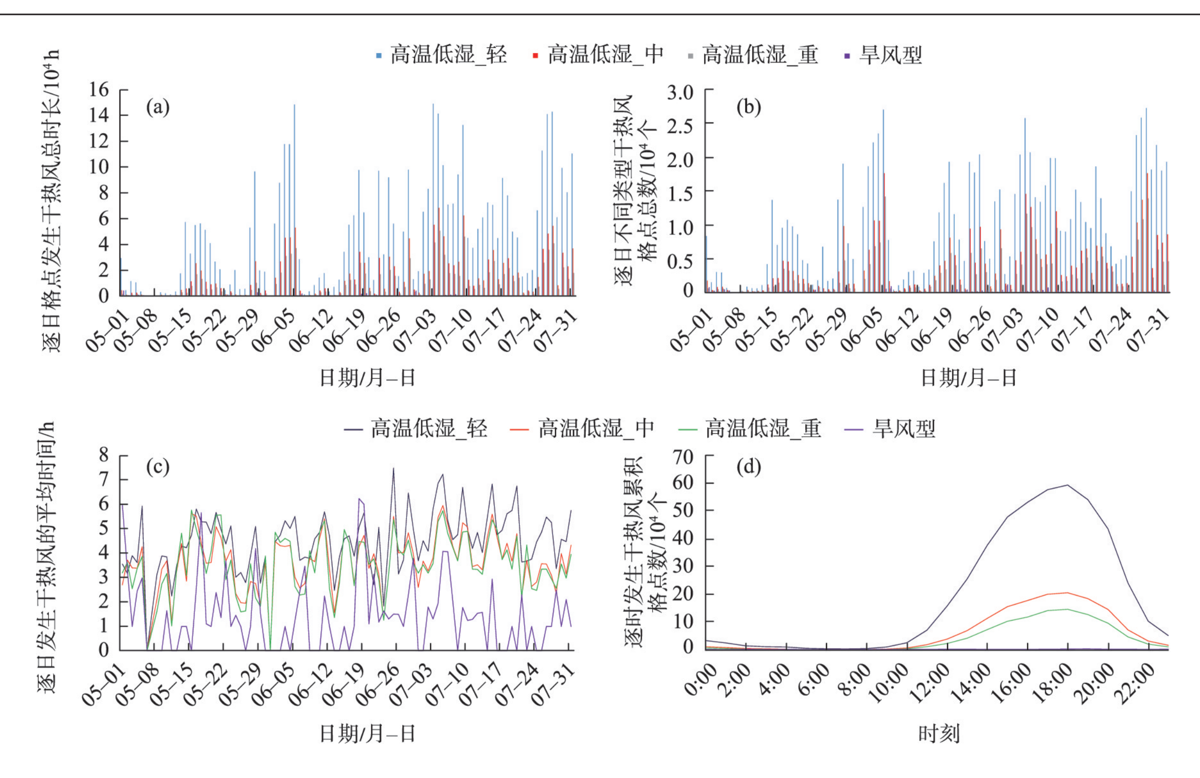


图3 新疆南部区域2020年5—7月干热风格点数、格点累积时数、格点平均时数逐日变化(a~c)及格点数日内逐时变化(d)

Fig. 3 Grid numbers, total hours, daily with average hours (a-c) and hourly variation curve of dry hot-wind (d) in southern Xinjiang from May to July in 2020

表3 新疆南部区域不同类型干热风日数逐旬分布

Tab. 3 Ten-day distribution of dry-hot wind days of different types in southern Xinjiang /d

		5月上旬	5月中旬	5月下旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月中旬	7月下旬
高温低湿	逐日总时数≥ 10×10^4 h	0	0	0	3	0	0	4	0	4
	逐日总时数≥ 8×10^4 h	0	0	1	4	1	3	6	1	6
	逐日格点数≥ 2×10^4 个	0	0	0	3	0	1	3	0	4
	逐日格点数≥ 1.5×10^4 个	0	0	1	4	2	4	6	2	7
	日平均时间≥6.5 h	0	0	0	0	0	2	3	2	0
旱风型	逐日格点数≥500个	4	1	2	2	2	3	3	0	0
	日平均时间≥4 h	1	1	1	0	2	0	2	0	0
	日平均时间≥3 h	2	1	2	1	2	2	2	0	0

干里克一带的区域，以及塔里木河以北至尉犁、轮台，塔中、若羌、且末至民丰一带。V_1等级的格点占区域干热风格点总数的7.0%，主要分布于若羌和哈密盆地、吐鲁番盆地。

新疆南部区域I_1等级的范围属于冬小麦主要种植区，干热风格点的轻、中、重度高温低湿型以及旱风型干热风的日数平均值分别为5.2 d、1.5 d、1.4 d和2.5 d，小时数平均值分别为11.6 h、2.0 h、1.5 h和4.2 h。干热风强度最强的V_1等级，轻、中、重度的高温低湿型和旱风型干热风日数平均值分别为71.4 d、50.2 d、43.3 d和4.9 d，小时数平均值分别为563.8 h、290.4 h、235.6 h和17.3 h。

2.2 干热风高发时段

准确了解干热风出现日期与演变规律，对干热风防御具有重要意义[2]。由图3和表3可知，2020年5—7月，新疆南部区域干热风时数多、面积广。其中，满足逐日高温低湿型干热风格点总时数≥ 10×10^4 h或逐日干热风格点数≥ 2×10^4 个的日数共11 d，主要集中在6月上旬和下旬、7月上旬和下旬。区域高温低湿型干热风平均时数≥6.5 h的日数共7 d，主要出现在6月下旬、7月上旬和中旬。区域旱风型干热风平均时数≥4 h的日数共7 d，主要出现在5月、6

月中旬和7月上旬（表3）。该时段正值哈密、焉耆、和田、喀什和阿克苏地区小麦乳熟期。

在干热风高发阶段，每天17：00—20：00干热风格点数最多，干热风落区面积最大。由图3d可知，在18：00高温低湿型干热风的落区面积最大，该时次的轻、中、重度干热风格点累积数分别达到591749个、204384个和145175个；在19：00旱风型干热风的落区面积最大，此时次的旱风型干热风格点数最多，达到2546个。

2.3 干热风过程空间分布特征

定义某格点上连续出现的干热风日为1次干热风过程。持续2 d的干热风可使局部麦田受害，持续3~4 d可使1/3~1/2的地块受害，持续5~9 d小麦基本都会受害，若持续10 d以上小麦普遍干枯[5,10]。在分析时段内，区域内每个格点上都可能出现多次干热风过程。通常一个地区年干热风过程次数越多，过程持续日数越长，无防御措施的情况下对小麦造成的危害也越重[2]。分别选取干热风过程次数和过程最长持续日数作为指标，分析最长持续日数的空间分布特征。将轻度高温低湿型干热风过程次数HTLH_L作为指标划分为4个等级，即：I_2（1次≤HTLH_L≤5次）、II_2（5次<HTLH_L≤10次）、III_2（10次<HTLH_L≤15次）和IV_2（15次<HTLH_L≤24次）。

由图4可知，2020年5—7月，在新疆南部区域，轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程次数范围分别为1~24次、1~22次、1~21次和1~19次，干热风过程平均次数分别为10.7次、7.1次、5.7次和2.9次；过程最长持续日数的范围分别为1~53 d、1~46 d、1~46 d和1~5 d，干热风过程平均日数分别为

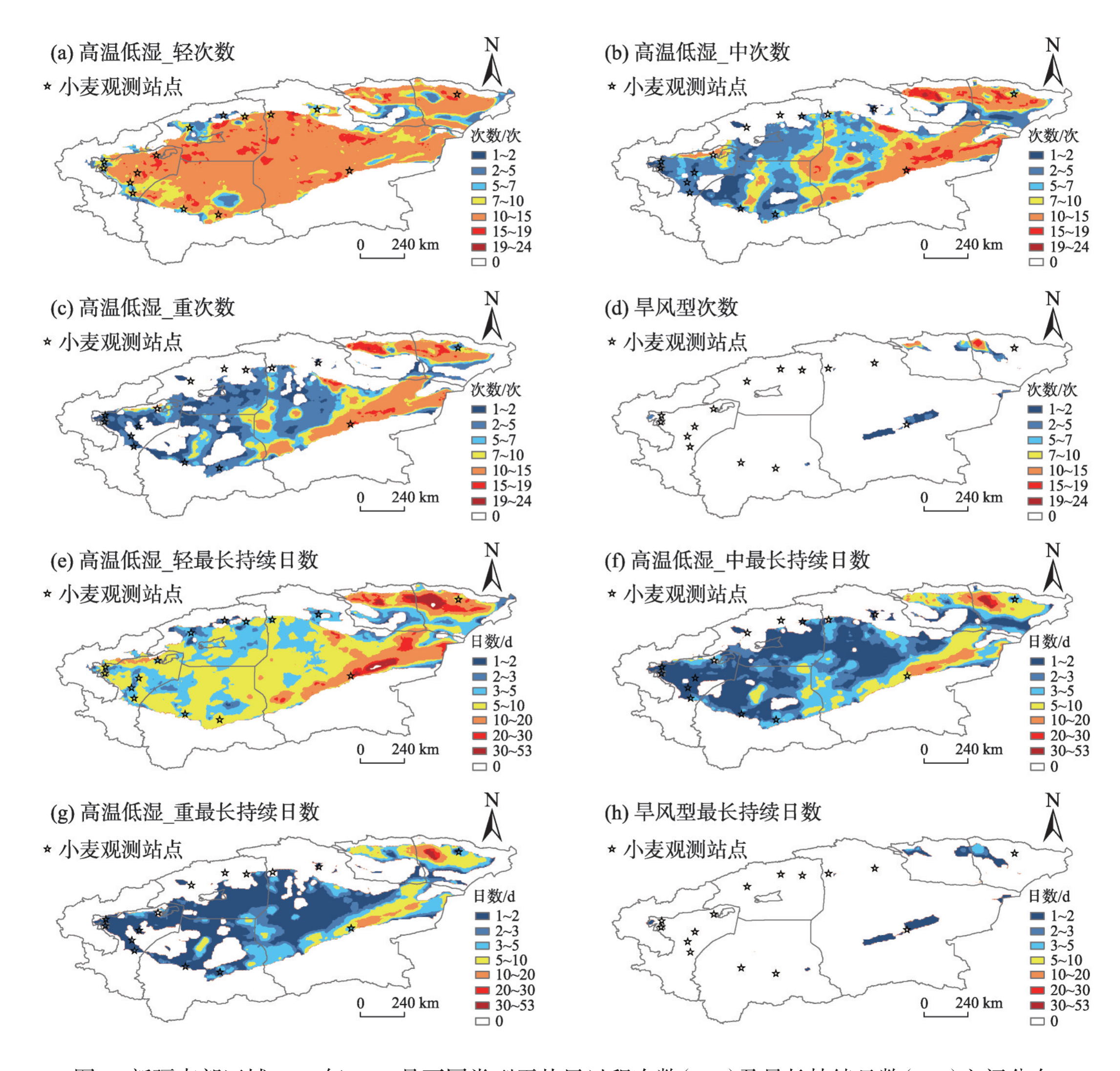


图4 新疆南部区域2020年5—7月不同类型干热风过程次数(a~d)及最长持续日数(e~h)空间分布

Fig. 4 Spatial distribution number of times (a-d) and the longest duration days (e-h) of dry-hot wind of different types in southern Xinjiang from May to July in 2020

7.9 d、3.5 d、2.9 d和1.3 d。由图4还可知，2020年5—7月，新疆南部区域I_2等级的格点占干热风格点总数的12.9%，零星分布在从红柳河向西到吐鲁番南部的区域和阿克苏地区。II_2等级的格点占干热风格点总数的22.2%，零星分布在和田地区、喀什地区的部分区域。III_2等级的格点占干热风格点总数的60.8%，主要集中在哈密、吐鲁番、从红柳河向西南一直延伸至铁干里克和若羌一带，以及塔里木河以北的尉犁、轮台、阿拉尔，塔里木河以南至且末、民丰、喀什地区。IV_2等级的格点占干热风格点总数的4.1%，呈零星分布。

由表4可知，2020年5—7月，在II_2等级格点中，轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程的格点数分别为6647个、5938个、4416个和796个。轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程的格点平均次数分别为8.4次、5.5次、5.5次和3.2次，过程最长持续日数的格点平均值分别为9.0 d、3.5 d、3.4 d和1.4 d，若无防御措施可使局部麦田受害。最强的IV_2等级格点中，轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程的格点数分别为1243个、1239个、1217个和102个。轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程的格点平均次数分别为16.6次、8.0次、5.8次和3.8次，过程最长持续日数的格点平均值分别为7.4 d、3.1 d、2.4 d和1.3 d。干热风过程次数多，过程持续日数长，无防御措施的情况下小麦基本都会严重受害。

2.4 区域干热风综合指数时空分布

以干热风综合强度指数CID为指标，根据CID数值划分为4个等级，具体为：I_3（1≤CID≤10）、II_3（10<CID≤20）、III_3（20<CID≤60）、IV_3（60<CID≤372），用4个等级来分析干热风的分布区域。

由图5可知，I_3等级的格点占干热风格点总数的28.3%，格点CID平均值为4.5，主要分布在和田地区、喀什地区的部分区域和阿克苏地区。II_3等级的格点占干热风格点总数的23.5%，格点CID平均值为14.6，主要分布在巴州、阿克苏地区、喀什地

表4 不同等级干热风过程平均次数、最长持续日数与格点数

Tab. 4 Average (frequency, longest duration days) and grid number of dry-hot wind of different types

	I_2平均值	II_2平均值	III_2平均值	IV_2平均值
HTLH_L次数/次	3.2	8.4	12.7	16.6
HTLH_M次数/次	2.4	5.5	7.9	8.0
HTLH_H次数/次	3.9	5.5	5.7	5.8
DW次数/次	3.6	3.2	2.5	3.8
HTLH_L最长持续日数/d	4.0	9.0	8.4	7.4
HTLH_M最长持续日数/d	4.1	3.5	3.5	3.1
HTLH_H最长持续日数/d	7.3	3.4	2.7	2.4
DW最长持续日数/d	1.5	1.4	1.2	1.3
HTLH_L格点个数/个	3854	6647	18244	1243
HTLH_M格点个数/个	1278	5938	18148	1239
HTLH_H格点个数/个	549	4416	17344	1217
DW格点个数/个	212	796	1594	102

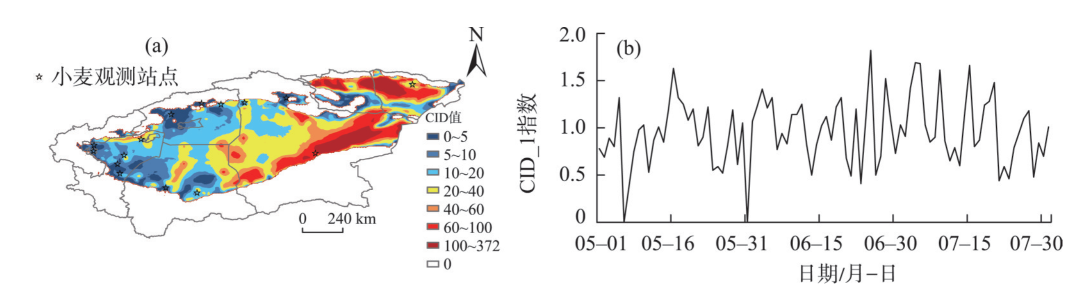


图5 新疆南部区域2020年5—7月干热风综合强度指数空间分布(a)及逐日变化(b)

Fig. 5 Spatial distribution (a) and daily variation (b) of dry-hot wind comprehensive strength index in southern Xinjiang from May to July in 2020

表5 高温低湿型干热风不同强度日数逐旬分布

Tab. 5 Ten-day distribution of high temperature and low humidity dry-hot wind days of different strength /d

	5月上旬	5月中旬	5月下旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月中旬	7月下旬
HTLH_L日平均时间≥6.5 h	0	0	0	0	0	2	3	2	0
HTLH_L日平均时间≥5.8 h	1	1	0	0	0	2	4	1	0
HTLH_L日平均时间≥5.7 h	1	2	0	0	1	2	4	3	1
CID_1≥1.5	0	1	0	0	0	2	3	1	0
CID_1≥1.4	0	1	0	1	0	2	4	1	0
CID_1≥1.32	1	2	0	2	1	2	4	2	0

区的部分区域。III_3等级的格点占干热风格点总数的32.6%，格点CID平均值为34.7，主要分布在巴州南部区域。IV_3等级的格点占干热风格点总数的15.6%，格点CID平均值为107.0，主要分布在哈密、吐鲁番、红柳河向南延至铁干里克一带，以及若羌、且末等区域。

由图5和表5可见，2020年5—7月，新疆南部区域逐日CID_1≥1.5日数主要集中在5月中旬、6月下旬、7月上旬和中旬，共有7 d。CID_1≥1.32广泛分布于5—7月各旬，其中，7月上旬有4 d。区域干热风日平均时数HTLH_L≥6.5 h的逐旬分布特征与CID_1≥1.5的分布相似，HTLH_L≥5.7 h的逐旬分布特征与CID_1≥1.32的分布相似。

3 讨 论

新疆南部区域气候干燥，为干热风多发区。干热风对小麦灌浆和产量的影响，与干热风出现的时段、强度、频率、以及田间小气候、小麦抗干热风能力、农业生产防灾避险措施密切相关，是气象因子致灾危险性、承灾体暴露度和脆弱性、防灾减灾能力等综合作用的结果。新疆南部地区在小麦生产中，进行了防护，具体有：(1) 选用早熟、抗逆品种麦种可争取小麦早抽穗、早成熟躲避高温。(2) 合理灌溉、保持田间土壤水分适宜可增加大气湿度、有效抵御干热风导致的高温和低湿。(3) 在小麦的生长后期，喷施一些叶面肥改善小麦的生理机能，增强对干热风的抵抗能力。(4) 在麦田的周围建造防风林，可以有效减少干热风的强度并缩短持续时间，降低干热风造成的损伤。自2010年塔里木河流域实施水资源统一管理，生态安全水平不断提高[22]，加大对塔里木盆地防护林建设和管理，促进流动风沙土的成土过程[23]，自然灾害得到了有效缓解[24]。通过实施上述防护举措，有效地提高了该地区防御干热风灾害的能力。因此，即使出现较强的干热风，但小麦产量不一定有明显损失。鉴于小麦品种特性和生产条件变化，结合当前农业生产技术、观测技术、地面、卫星、雷达等多源数据，逐小时格点气象实况资料，开展更加精细化干热风时空特征研究，将风险灾害分析精确到田间，有助于农户开展精准的农业生产防灾避险工作。

4 结 论

基于中国气象局最新整理的CLDAS高时空分辨率再分析气象数据，分析了2020年5—7月新疆南部区域干热风精细化特征，结论如下。

(1) 新疆南部区域小麦种植区遭受干热风危害较为严重。在小麦开花到成熟的5月上旬至7月中旬，该区域整体上以高温低湿型干热风危害为主，在海拔高度1500 m以下均有分布；在吐鲁番盆地三十里风区、哈密百里风区和巴州铁干里克风区地带，旱风型干热风危害也较严重。该区域出现轻、中、重度的高温低湿型和旱风型干热风的格点日数分别为31.0 d、13.8 d、10.7 d和3.6 d，格点时数分别为151.2 h、54.6 h、41.2 h和11.3 h。

(2) 区域高温低湿型干热风日平均时数≥6.5 h的日数共7 d，主要出现在6月下旬、7月上旬和中旬；区域旱风型干热风日平均时数≥4 h的日数共计7 d，主要出现在5月、6月中旬和7月上旬。在干热风高发时段，每天17:00—20:00干热风影响区域最广，在每天的18:00高温低湿型干热风区域最大，在19:00旱风型干热风区域最大。

(3) 新疆南部区域，轻、中、重度高温低湿型和旱风型干热风过程的格点平均次数分别为16.6次、8.0次、5.8次和3.8次，过程最长持续日数的格点平均值分别为7.4 d、3.1 d、2.4 d和1.3 d。干热风过程次数多，过程持续日数长，无防御措施的情况下小

麦基本都会严重受害。

参考文献(References):

[1] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风[M]. 北京: 气象出版社, 1988. [Northern Wheat Dry Hot Wind Research Cooperation Group. Dry Hot Wind of Wheat[M]. Beijing: Meteorological Press, 1998.]

[2] 候启, 张勃, 何航, 等. 近50多年河西地区干热风事件时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(2): 403-411. [Hou Qi, Zhang Bo, He Hang, et al. Spatiotemporal variation of dry-hot wind events in the Hexi region in recent 50 years[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(2): 403-411.]

[3] 霍治国, 尚莹, 邬定荣, 等. 中国小麦干热风灾害研究进展[J]. 应用气象学报, 2019, 30(2): 129-141. [Huo Zhiguo, Shang Ying, Wu Dingrong, et al. Review on disaster of hot dry wind for wheat in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2019, 30(2): 129-141.]

[4] 陈永川, 刘丽媛, 班海峰. 干热风对葡萄花期的危害及防御措施[J]. 新疆农业科技, 2020, 42(6): 9. [Chen Yongchuan, Liu Liyuan, Ban Haifeng. Harm of dry hot wind to grape florescence and its defense methods[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2020, 42(6): 9.]

[5] 赵花荣, 任三学, 齐月, 等. 不同时期灌水对冬小麦干热风的防御效应[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(4): 58-65. [Zhao Huarong, Ren Sanxue, Qi Yue, et al. Defensive effect of irrigation at different stage on hot dry wind stress on winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(4): 58-65.]

[6] 邓振镛, 张强, 倾继祖, 等. 气候暖干化对中国北方干热风的影响[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 664-671. [Deng Zhenyong, Zhang Qiang, Qing Jizu. et al. Impact of climate warming and drying on dry-hot wind in the North of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(4): 664-671.]

[7] 杨涛. 新疆塔里木盆地灌溉对区域气候影响的数值模拟研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020. [Yang Tao. Numerical Simulation of the Effects of Irrigation on Regional Climate in Tarim Basin, Xinjiang[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.]

[8] 马光旭. 新疆焉耆回族自治县春小麦种植的气候条件分析[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(3): 97-98. [Ma Guangxu. Analysis of climatic conditions for spring wheat planting in Yanqi Hui Autonomous County, Xinjiang[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2020, 10(3): 97-98.]

[9] 陈颖, 邵伟玲, 曹萌, 等. 新疆夏季高温日数的变化特征及其影响因子[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 58-66. [Chen Ying, Shao Weiling, Cao Meng, et al. Variation of summer high temperature days and its affecting factors in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 58-66.]

[10] 李森, 韩丽娟, 郭安红, 等. 1961—2015年黄淮海地区冬小麦干热风灾害时空分布特征[J]. 生态学报, 2018, 38(19): 6972-6980. [Li Seng, Han Lijuan, Guo Andong, et al. Spatial-temporal characteristics of dry-hot wind for winter wheat in Huang-Huai-Hai region from 1961 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): 6972-6980.]

[11] 李森, 韩丽娟, 张蕾, 等. 黄淮海地区干热风灾害致灾因子时空特征分析[J]. 自然灾害学报, 2020, 29(1): 183-192. [Li Sen, Han Lijuan, Zhang Lei, et al. Spatial-temporal characteristics of dry-hot wind factors in Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Natural Disasters, 2020, 29(1): 183-192.]

[12] 李彤霄, 成林, 马青荣, 等. 河南省干热风发生规律及其与小麦开花期的关系[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(22): 58-64. [Li Tongxiao, Cheng Lin, Ma Qingrong, Occurrence regularity of dry-hot wind and relationship with winter wheat flowering period in Henan Province[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58(22): 58-64.]

[13] 成林, 张志红, 史桂芬, 等. 干热风天气下麦田通量特征[J]. 干旱气象, 2020, 38(2): 205-212. [Cheng Lin, Zhang Zhihong, Shi Guifen, et al. Flux characteristics of wheat field under dry-hot wind weather condition[J]. Journal of Arid Meteorology, 2020, 38(2): 205-212.]

[14] 喇永昌, 李丽平, 张磊. 宁夏灌区春小麦干热风灾害的时空特征[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(4): 516-522. [La Yongchang, Li Lipin, Zhang Lei. Spatial and temporal characteristics of dry-hot wind disaster for spring wheat in the irrigated areas of Ningxia[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(4): 516-522.]

[15] 马雅丽, 栾青, 李伟伟, 等. 山西冬小麦干热风分布特征及对产量的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(7): 1134-1138. [Ma Yali, Luan Qing, Li Weiwei, et al. distribution characteristics of dry-hot wind and its effect on yield of winter wheat in Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(7): 1134-1138.]

[16] 张翠英, 樊景豪, 张斌. 鲁西南干热风发生规律及统计预测模型[J]. 干旱气象, 2016, 34(1): 207-211. [Zhang Cuiying, Fan Jinghao, Zhang Bin. Dry-hot wind characteristic and statistical forecasting model in Southwest of Shandong Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(1): 207-211.]

[17] 韩丽娟, 赵晓凤, 张蕾. 2020年夏收粮油作物生育期气象条件及其影响分析[J]. 中国农业气象, 2020, 41(9): 605-607. [Han Lijuan, Zhao Xiaofeng, Zhang Lei. Analysis of meteorological conditions and their impacts on the growth period of grain and oil crops in the summer of 2020[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2020, 41(9): 605-607.]

[18] 杨志捷, 金林雪, 武荣盛, 等. 基于GIS的内蒙古春小麦干热风风险精细化区划[J]. 干旱气象, 2019, 37(5): 866-872. [Yang Zhijie, Jin Linxue, Wu Rongsheng, et al. Refined risk division of dry-hot wind disaster for spring wheat in Inner Mongolia based on GIS[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(5): 866-872.]

[19] 霍治国, 尚莹, 王纯枝, 等. 小麦干热风灾害等级(QX/T 82-2019)[S]. 中国气象局, 2019. [Huo Zhiguo, Shang Ying, Wang Chunzhi, et al. Disaster Grade of Dry-hot Wind for Wheat (QX/T 82-2019) [S]. China Meteorological Administration, 2019.]

[20] 王春乙, 潘亚茹, 季贵树. 石家庄地区干热风年型指标分析及统计预测模型[J]. 气象学报, 1991, 49(1): 104−107. [Wang Chunyi, Pan Yaru, Ji Guishu. Index analysis of dry hot wind year's type and forecasting model in Shijiazhuang district[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1991, 49(1): 104−107.]

[21] 李森, 韩丽娟, 毛留喜, 等. 小麦干热风灾害综合强度指数研究[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(2): 174−182. [Li Sen, Han Lijuan, Mao Liuxi, et al. A modified comprehensive intensity index of dry-Simulationhot wind hazard for wheat[J]. Journal of Natural Disasters, 2018, 27(2): 174−182.]

[22] 李梦怡, 邓铭江, 凌红波, 等. 塔里木河下游水生态安全评价及驱动要素分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 39−47. [Li Mengyi, Deng Mingjiang, Ling Hongbo, et al. Evaluation of ecological water security and analysis of driving factors in the lower Tarim River, China[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 39−47.]

[23] 沈芳宇, 王永东, 李生宇, 等. 塔里木沙漠公路防护林土壤团聚体特征[J]. 干旱区研究, 2015, 32(5): 910−917. [Shen Fangyu, Wang Yonghong, Li Shengyu, et al. Study on soil aggregates of the desert highway shelterbelt in Tarim[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(5): 910−917.]

[24] 孙琳, 穆桂金, 周杰, 等. 策勒绿洲边缘新疆杨防护林疏透度的季相变化[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1181−1185. [Sun Lin, Mu Guijin, Zhou Jie, et al. Seasonal variation of shelterbelt porosity of *Populus alba* var. *pyramdalis* at the edge of Cele Oasis in the south of Tarim Basin[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(6): 1181−1185.]

Detailed analysis of the characteristics of dry-hot wind in southern Xinjiang in 2020

ZHANG Zulian[1,2], MAO Weiyi[1], YAO Yanli[2], ZHANG Shanqing[2], GU Yawen[2]

(1. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Agriculture Network Information Center, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: The paper using 5 km of CLDAS from May to July 2020 grid hour data and wheat growth data in 2020, the definition of dry-hot wind based on hourly meteorological elements was refined, sort out the hourly dry-hot wind data of each grid, detailed analysis of the characteristics of high temperature and low humidity (light, medium and heavy) and dry wind types dry-hot wind in southern Xinjiang. The results show that: (1) The average cumulative days of four degrees dry-hot wind were 31.0,13.8,10.7, and 3.6 days, and the average cumulative hours were 151.2, 54.6, 41.2, and 11.3 h, the high value areas of dry-hot wind days, hours and comprehensive strength index were located in Ruoqiang, Hami and Turpan regions. (2) The days with average hours of high temperature and low humidity dry-hot wind≥6.5 h were concentrated in late June, early and mid-July, the days with dry wind type dry-hot wind average hours≥4 h were concentrated in May, mid-June and early July, the largest areas of high temperature and low humidity type at 18:00 and dry wind type at 19:00 every day. (3) Analysis of dry-hot wind process distribution, the average cumulative times of four degrees dry-hot wind were 12.7, 7.9, 5.7, and 2.5 times, the average longest duration days were 8.4, 3.5, 2.7, and 1.2 days. The dry-hot wind have large areas, many times, long duration days and strong process. Therefore, enough attention should be paid to the defense of dry-hot wind.

Keywords: wheat; dry-hot wind; detailed characteristics; southern Xinjiang